從"Sugarcane Biomass & Burning: an empirical scenario for the Lower Rio Grande Valley of Texas"報告看二氧化碳的固定與釋放估算

◎農委會農糧處　林明華
農試所農藝系　楊純明

從地球誕生迄今的五十億年歷史裡，氣候的變遷乃是不斷的發生，惟其轉變速率概以千、萬年甚或百萬年計，不似近兩百年來的快速改變。自工業革命以來，由於石化燃料的使用、人造化學品的產製、人類各樣活動的釋放、及各種天然災變的逸釋等，使得大氣中吸收長波輻射能的各種溫室效應氣體濃度急劇增加。此一現象增強了溫室效應，直接促成了地球溫暖化，並間接改變了氣候的常態運轉與演變，而加速全球氣候的變遷。

氣候變遷的加速將影響原來運行的氣候系統，於是天氣與氣候的型態將更不規律，氣象混亂及異常現象將更頻繁，各種負面的效應將層出不窮。諸如失序的局地氣候、優氧化的水質、酸化的降水(如酸雨、酸霧)、平衡破壞的生物圈與生態環境、及遷移的海洋與陸地面積等問題，均已陸續浮上檯面，人們的日常作息及士農工商百業的運作皆受影響，逐漸成為現代人的夢魘。

農林漁牧各產業的生產將因整體氣候環境的明顯差異，受到不同程度的衝擊。在農作物的產銷系統裡，從種苗生產、農作物栽培管理、直至農產品的收穫與調製等過程，勢將重新調整，以配合氣候變遷帶來對各層面的顯著影響。

一、溫室效應及其增強原因

地殼上方充滿一氣、液、固相混合的大氣層，組成元素包括各種氣體分、塵粒、及水蒸汽等。在這些氣體分子當中，二氧化碳、臭氧、甲烷、氟氯碳化物、氧化亞氮及水蒸氣等均能吸收長波輻射能，宛如一層覆罩的玻璃般維持地表溫度，即所謂的溫室效應。惟自十九世紀工業革命之後，石化能源的消耗及諸種人為活動大幅擴增二氧化碳，水田的開發及工業活動不斷釋出甲烷，氮肥的浮濫施用釋放出巨量氧化亞氮，傳統冷凍劑的使用揮發氟氯碳化物，火山爆發噴釋多種溫室效應氣體。這些長生命週期的溫室效應氣體長期在大氣中累積的結果，遂增強了大氣層的溫室效

應。因此，可以說當前眾所矚目的溫室效應問題主要是由人類造成的，所引發的氣候變遷惡果當由人們自行承受。

減輕溫室效應的劣化，將有助於減緩氣候變遷的速度。為期糧食的穩定供應，人類生活空間的長久維持，吾人不僅應當關心全球氣候的變遷，尤應謀求因應對策以減少溫室效應氣體產生量及農業(農作物)生產受到的衝擊。由於綠色植物進行光合作用，能夠固定大氣中的二氧化碳，同時釋出氧氣，因此扮演大地『空氣淨化者』優越角色。身為農業從業人員，如何應用科技及必要措施發揮二氧化碳固定效率，降低已固定二氧化碳的釋放，將是一項有意義而值得挑戰的工作。

二、報告內容摘述

該篇報告(Rozeff, 1994)由甘蔗植體焚燒前後的外觀與重量變化，計算甘蔗植體各部位乾物質(dry matter)的改變，比較含水量的差異，以瞭解田間甘蔗收穫之前的焚燒做法造成的結果。並進一步引用另篇報告的估算方法，計算採收時甘蔗對二氧化碳固定和氧氣產生的總量，及焚燒甘蔗所釋出的二氧化碳及消耗的氧氣，以評估焚燒蔗田的利弊。根據資料分析，作者認為焚燒並未抵銷甘蔗生長過程所生成與蓄積乾物質中的二氧化碳；換言之，可收穫甘蔗所固定的二氧化碳及產生的氧氣大於因焚燒措施所再釋放的二氧化碳及消耗的氧氣。所以，在尚未發展出更妥善的甘蔗採收方法之前，該文以為現行焚燒甘蔗植體以去除部份非必要殘留物仍是可以被接受的做法。

三、報告析論

該篇報告的結語雖然大致正確，惟其中若干立論與資料估算方法值得檢討與改進。首先，焚燒收穫當時的甘蔗植體，固然可以燒除枯葉、雜草、及無關的廢棄物，並降低蔗體含水量而提高蔗糖濃度，有利於隨後的工廠處理過程及壓榨作業。但是，焚燒不單純是釋放二氧化碳及消耗氧氣，尚有多種該篇報告未偵測且忽略未提的氣體排放。而造成的空氣污染問題影響十分深遠，難以簡單評估，包括對人畜的健康、生態的危害、景觀的破壞、氣候的潛在干擾等等。再者，煙霧將妨礙交通，也造成社會經常作息的不便，亦是負面的惡果。

其次，該篇報告假設甘蔗植體全為碳水化合物(CH_2O)，高估了其乾物質的二氧化碳固定量及氧氣產生量。因為任何植物的植體組成份眾多，雖以水分、氮素、碳素、及礦物元素為主要，大多數的植物碳素含量低於50%；例如水稻植體各部位的碳素含量不一，分別由30至40%不等。如此一來，該文就低估了焚燒所再釋出二氧化碳及消耗氧氣的比例。雖然從蔗苗至成株過程再經焚燒，甘蔗植體二氧化碳的固定量仍大於釋放量，氧氣的產生量依舊高於消耗量，但是種種前述負面作用累加起來，似乎僅及邊際效應罷。新的環保甘蔗採收方法還是及早研擬為妙, 特別是目前國際蔗糖價格甚低，打打算

盤即知焚燒的整體經濟效益並不是太高。

四、報告的延伸應用－國內農作物對二氧化碳減量的估算與預測

該篇報告以植體重量換算二氧化碳及氧氣的消長，若能試驗分析含碳百分比，此一方法將適用於其他農作物，並可獲得較準確的估算結果。吾人可由各種農作物的栽植面積，植體的重量與乾物質的比值，以及植體碳素佔有比例，大致估算不同農作物每一生長季節對於固定二氧化碳及產生氧氣的貢獻，估測其碳素循環效率。若再測知植體各部位含碳比例，更能進一步將固定的二氧化碳分佈標示出來，分析各部位貢獻比例；反之，各部位焚燒所釋放的二氧化碳量亦得以因此估測。所以該文方法是可以應用於其他農作物的，但是應予修正和測定植體含碳比，則準確的估算結果才有意義。

在各產業界檢討、比較二氧化碳釋放量, 互相諉過、推卸責任的浪潮中，農政機關應當自我評估、找出確實數據以自求多福，並以此資料重申農業之優點。在可預見的未來，農政機關宜編列預算，加強相關試驗研究。委託合適研究單位執行計畫，先針對國內較大面積之農作物進行試驗分析，據以提出國內農作物生產對二氧化碳的減量成效，和產生氧氣對改善空氣品質的具體功能。以實際的科學證據為論點，駁斥對農業的無理指責，闡述、宣揚農業的二氧化碳減量效果和減輕溫室效應成效。

五、結語

相較於歐美、鄰近日本及中國大陸等而言, 臺灣地區對全球氣候變遷的研究起步甚晚。為了探究臺灣地區人文、地理、社會、經濟、產業等各層面可能受到的衝擊，本土科學家應積極力求迎頭趕上。由於氣候變動有連鎖作用, 因此除了臺灣及週邊地區的研究，當有全球性的格局、長時程的眼光，整合各界攜手努力共謀避免全球氣候鉅變及因應興革之道。全球氣候變遷及溫室效應議(問)題，以往農業試驗研究並無全面而整體的規劃，雖然農委會自87年度至90年度(四年)編列每年375萬研究預算，比較先進國家經費額度差距仍大，建議酌予增加。而農業在環境保護與生態維護體系當中，是唯一擁有產業的、生態的、環保的多種特質的生產事業，應當大力支持其永續經營。冀望識者共勵共勉，為農業的發展，國家民族的生存，留一分生機、點一盞燈。

附記1：請參見原文（原文作者為N.Rozeff，報告刊登於Sugar Cane 2:2-5, 1994.），瞭解其詳細內容。

附記2：以美國水稻品種Lemont為例，植體各部位含碳百分比約為: 葉片35%，莖稈36%, 根部33%, 穀粒40%, 穗軸31%。